

**УДК 669.184**

**В.С. Богушевский, докт. техн. наук, профессор, В.Ю. Сухенко, канд. техн. наук,  
И.Ю. Пискова**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина

## **КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ВАННЫ В КОНВЕРТЕРЕ**

**V.S. Bogushevskii, Dr., Prof., V.Yu. Sukhenko, Ph.D, I.Yu. Piskova  
CONTROL THE BOTH LEVEL IN BOF**

Решение задачи синхронизации процесса обезуглероживания и нагрева расплава в конвертере зависит от достоверной информации о состоянии шлака, в значительной степени определяемом уровнем эмульгированной ванны в процессе рафинирования. Самый распространенный косвенный параметр контроля процесса шлакообразования и связанного с ним уровня эмульгированной ванны – акустический эффект, возникающий в полости конвертера [1]. Однако на величину этого сигнала значительно влияют посторонние помехи и наложение спектров шума от продувки на соседнем конвертере. Кроме того, износ футеровки горловины конвертера, изменение геометрических параметров футеровки реторты и сопел фурмы по ходу кампании существенно искажают акустическую картину.

Целью исследований является повышение точности контроля уровня ванны в процессе продувки.

Доказано, что колебания скорости обезуглероживания ванны приводят к изменению давления газов в полости конвертера, которое передается по газоотводящему тракту. Используя термодинамические зависимости от квазистационарного процесса при допущении изохорности реакции горения, можно получать амплитудные характеристики колебаний давления газов.

Согласно первому закону термодинамики

$$\Delta Q = \Delta U, \quad (1)$$

где  $\Delta Q$  - теплота, сообщаемая рабочему телу, кДж;  $\Delta U$  - изменение внутренней энергии рабочего тела, кДж. Кроме того, тепловыделение в системе в течение одного цикла колебания можно определить как

$$\Delta Q = \frac{q U_m}{f}, \quad (2)$$

где  $q$  - удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг (для газообразного топлива при нормальных условиях);  $U_m$  - расход топлива кг/с;  $f$  - частота колебаний давления газа, Гц.

Согласно теории классической статистики Максвелла изменение внутренней энергии газа может быть определено по формуле

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R \Delta T, \quad (3)$$

где  $m$  - масса газа, кг;  $\mu$  - молярная масса газа, кг/моль;  $i$  - с учетом колебательных число степеней свободы движения одной молекулы газа;  $\Delta T$  - изменение температуры газа, К;  $R$  - универсальная газовая постоянная, равная 8,314 кДж/(кмоль · К).

Для описания состояния реального газа при низких давлениях и высоких температурах, что имеет место в кислородно-конвертерном процессе, можно использовать уравнение Менделеева-Клапейрона

$$\Delta PV = 10^3 \frac{m}{\mu} R \Delta T, \quad (4)$$

где  $\Delta P$  - амплитуда колебаний давления газов, Па;  $V$  - объем газа, м<sup>3</sup>.

Используя (1) – (4), получают выражение для амплитуды колебаний давления газа

$$\Delta P = 2 \cdot 10^3 \frac{q U_m}{i V f} \quad (5)$$

Считая, что во время продувки конвертера выделяются только углеродсодержащие газы CO и CO<sub>2</sub> для кислородного конвертера выражение (5) можно преобразовать

$$\Delta P_{\epsilon} = \frac{2 \cdot 10^3 [\gamma_{CO} q_{CO} + (1 - \gamma_{CO}) q_{CO_2}] V_c}{[\gamma_{CO} i_{CO} + (1 - \gamma_{CO}) i_{CO_2}] (V_{\epsilon} - V_a) f_{\epsilon}} \quad (6)$$

где  $\Delta P_{\epsilon}$  - амплитуда колебания давления газов в рабочем пространстве конвертера, Па;  $\gamma_{CO}$  - степень окисления углерода до CO в полости конвертера, определяемая как объемная доля окиси углерода в конвертерных газах [2];  $q_{CO}, q_{CO_2}$  - удельные тепловые эффекты реакции горения углерода ванны с участием холодного кислорода соответственно до CO и CO<sub>2</sub>, равные 10460 и 31250 Дж/кг;  $V_c$  - скорость выгорания углерода в ванне конвертера [3], кг/с;  $i_{CO}, i_{CO_2}$  - с учетом колебательных число степеней свободы движения одной молекулы соответственно окиси и двуокиси углерода, равные 6 и 8;  $V_{\epsilon}, V_a$  - объемы соответственно внутренней полости конвертера и ванны, м<sup>3</sup>;  $f_{\epsilon}$  - частота колебаний движения газов в конвертере, Гц.

Обозначив  $V_{\bar{n}\bar{a}} = V_{\epsilon} - V_a$ , где  $V_{\bar{n}\bar{a}}$  - свободный объем конвертера, м<sup>3</sup>, получаем

$$V_{\bar{n}\bar{a}} = \frac{2 \cdot 10^3 [\gamma_{CO} q_{CO} + (1 - \gamma_{CO}) q_{CO_2}] V_c}{[\gamma_{CO} i_{CO} + (1 - \gamma_{CO}) i_{CO_2}] \Delta P_{\epsilon} f_{\epsilon}} = \frac{2 \cdot 10^3 [\gamma_{CO} (q_{CO} - q_{CO_2}) + q_{CO_2}] V_c}{[\gamma_{CO} (i_{CO} - i_{CO_2}) + i_{CO_2}] \Delta P_{\epsilon} f_{\epsilon}} \quad (7)$$

Зная величину свободного объема конвертера, исходя из его геометрических размеров несложно определить уровень ванны конвертера

$$h_a = h_{\epsilon} - \begin{cases} \frac{V_{\bar{n}\bar{a}} - \frac{1}{3} \pi h_{a+} (R_a^2 + R_a R + R^2)}{\pi R^2}, \\ \text{і } \frac{1}{3} \pi h_{a+} (R_a^2 + R_a R + R^2) \geq 0. \\ \sqrt[3]{\left(\frac{R_a h_{a+}}{R - R_a}\right)^3 \frac{3 V_{\bar{n}\bar{a}} h_{a+}^2}{\pi (R - R_a)^2} - \frac{R_a h_{a+}}{R - R_a}} \\ \text{і } \frac{1}{3} \pi h_{a+} (R_a^2 + R_a R + R^2) < 0. \end{cases} \quad (8)$$

где  $h_{\epsilon}$  - высота полости конвертера, м;  $h_{a+}$  - высота верхней конусной полости конвертера, м;  $R_a$  - радиус горловины конвертера (принимается постоянным по ходу кампании футеровки), м;  $R$  - внутренний радиус цилиндрической части конвертера по ходу кампании футеровки. Испытание предлагаемого технического решения показало, что его использование для контроля уровня ванны в конвертере позволяет осуществить контроль процесса с более высокой точностью (число плавов, выпускаемых с первой повалки, возрастает на 5 %), что снижает себестоимость стали и повышает ее качество.

### Литература

1. Богушевський В.С., Сергеева К.О. Модель доводки киснево-конвертерної плавки сталі за заданою температурою і вмістом вуглецю // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – № 2. – 2014. – С. 39 – 45.
2. Спосіб контролю ступеня допалювання монооксиду вуглецю у порожнині конвертера / Богушевський В.С., Сухенко В.Ю., Забайрацький М.І., Косенко М.С. // Патент № 93214U 2014 03161 від 28.03.2014, МПК C21C 5/35 (2006.01).
3. Богушевський В.С., Горбачова М.В. Устройство контроля скорости обезуглероживания // Металл и литье Украины. - № 3. – 2015. – С. 21 – 23.